

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 578 293

②1 N° d'enregistrement national :

84 19844

⑤1 Int Cl⁴ : F 02 K 11/00, 7/10, 9/00.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 26 décembre 1984.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOP « Brevets » n° 36 du 5 septembre 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE
RECHERCHES AEROSPATIALES, Etablissement Public de
l'Etat. — FR.

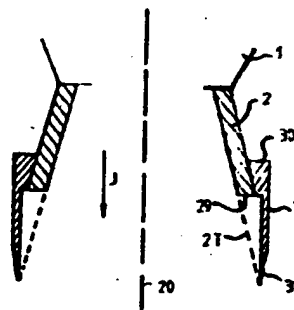
⑦2 Inventeur(s) : André Brunet et Francis Faure.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Netter.

⑤4 Moteur à réaction avec compensation du potentiel électrostatique, et procédé de compensation correspondant:

⑤7 Sur l'extrémité libre 29 d'une tuyère 2, on place une ou
plusieurs électrodes 3 dont les pointes 31, tournées vers
l'extérieur à l'égard du jet moteur J, affleurent la périphérie
externe 2T de celui-ci, définie par une tangente à la paroi
interne de la tuyère 2. Le rayon de courbure des extrémités 31
est inférieur à 100 microns. L'électrode 3 peut être reliée
directement à la structure du mobile porteur, ou bien comman-
dée par une chaîne d'asservissement en fonction d'une mesure
de champ électrique effectuée sur ce même mobile.



FR 2 578 293 - A1

D

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

Moteur à réaction avec compensation du potentiel électrostatique, et procédé de compensation correspondant.

L'invention concerne la limitation du potentiel électrique atteint en vol par les aéronefs qui utilisent pour leur propulsion des moteurs à réaction à combustibles solides et/ou liquides.

5

Elle s'applique notamment aux engins propulsés par un statoréacteur ou un moteur-fusée.

10 Pendant leur phase propulsée, à la traversée de l'atmosphère, ces mobiles accumulent des charges électriques positives ou négatives qui élèvent leur potentiel par rapport au sol. Les causes en sont la tribo-électricité, l'existence de décharges électriques dues au champ atmosphérique, et, enfin, le fait que des
15 charges électriques éjectées par le jet du ou des réacteurs font apparaître sur le mobile des charges de signe opposé.

La capacité, par rapport à la terre, de ces mobiles est de quelques centaines de pico-farads et il suffit donc d'une augmentation de charge réduite pour que leur potentiel prenne des valeurs importantes. A titre
5 d'exemple, pour une capacité du mobile de 200 pico-farads, l'éjection d'un courant de 1 micro-ampère pendant 1 seconde conduit à un potentiel de 5 kV.

Dans ces conditions, un champ électrique apparaît
10 autour du mobile, et lorsque l'intensité est suffisante, il se produit des décharges électriques qui peuvent perturber le fonctionnement des équipements électriques et électroniques embarqués, ainsi que les transmissions radio-électriques et les commandes élec-
15 triques de vol.

Dans le cas des avions, pour réduire la valeur de ce champ électrique, on a développé des systèmes passifs du type déperditeur de potentiel assurant l'écoulement
20 des charges dans l'atmosphère par effet "couronné". Mais le seuil de fonctionnement de ces déperditeurs est relativement élevé et donc le bruit radio-électrique parasite qu'ils engendrent peut être l'origine de perturbations préjudiciables à la sécurité du
25 vol. On a aussi proposé, dans le brevet français N° 72 25 536, publié sous le N° 2 192 022, de neutraliser les charges accumulées sur la structure de l'avion en injectant des charges électriques de signe opposé dans le jet partiellement ionisé d'un turbo-
30 réacteur. Mais ce procédé implique d'embarquer, à bord de l'avion, un générateur d'ions dont la mise en oeuvre est complexe.

Le Demandeur a observé que les gaz éjectés par la tuyère d'un moteur à réaction du type moteur-fusée con-
35

tiennent, comme les gaz éjectés par les turboréacteurs en régime de post-combustion, des charges électriques des deux signes (ions positifs, ions négatifs et électrons). Il s'est alors fixé comme l'un des buts de la présente invention d'utiliser ces charges, qui ont une forte mobilité, pour compenser la charge électrique acquise par le mobile.

Une autre observation a été faite, dans le cas plus particulier d'un moteur anaérobie, c'est-à-dire utilisant un propergol constitué d'un combustible et de son comburant. Les produits de combustion d'un propergol comportent souvent des particules solides, qui peuvent piéger des charges électriques, et constituer ainsi, à l'intérieur du jet, des porteurs de charges de mobilité beaucoup plus faible que celle des ions et électrons. La présente invention utilise aussi les ions et électrons pour compenser la charge électrique des particules ainsi éjectées.

Par ailleurs, des mesures effectuées par le Demandeur ont montré que, sur ce genre de propulseur, la charge électrique éjectée par le jet est sensiblement proportionnelle au périmètre de la tuyère. Il apparaît donc que cette charge ou plus exactement ce déséquilibre de charge se trouve essentiellement situé dans la couche limite entourant le jet propulsif.

La présente invention part d'un moteur à réaction comportant une chambre de combustion où l'on fait brûler un combustible solide ou liquide, et une tuyère pour éjecter vers l'extérieur un jet constitué des produits de cette combustion.

D'une manière générale, l'invention prévoit que la

tuyère comporte, au voisinage de son extrémité libre externe, une ou plusieurs électrodes conductrices effilées, dont les pointes, tournées vers l'intérieur à l'égard du sens du jet, affleurent la périphérie externe de celui-ci. L'invention prévoit aussi des moyens d'interconnecter la ou lesdites électrodes avec la masse du moteur ou du mobile qui le porte, afin de canaliser les charges accumulées par le moteur et/ou son porteur et créer à la sortie de la tuyère un champ électrique local intense, pour attirer les charges de signe opposé contenues dans le jet. On réalise ainsi un transfert de charges électriques entre le jet et le moteur ainsi que le porteur, ce qui permet de limiter le potentiel de ces derniers lorsque le moteur est en fonctionnement.

Selon un autre aspect de l'invention, le rayon de courbure de l'extrémité effilée de la ou des électrodes est très inférieur au millimètre, étant observé néanmoins que ce rayon de courbure est moins critique qu'avec les déperditeurs de potentiel classiques.

Plus particulièrement, le rayon de courbure de l'extrémité effilée de la ou des électrodes est typiquement inférieur à 100 microns, de préférence inférieur à 50 microns.

Comme déjà indiqué, l'invention s'applique préférentiellement au cas où le jet est produit à partir d'un propergol contenant un combustible et un comburant, le moteur étant donc anaérobie.

Selon un autre aspect de l'invention, la ou les électrodes sont placées à la limite du jet, pour éviter toute interaction aérodynamique avec celui-ci.

En d'autres termes, l'extrémité effilée de la ou des électrodes peut être considérée comme tangente à la génératrice de la tuyère.

- 5 L'invention trouve une application particulièrement intéressante lorsque le moteur éjecte des particules solides chargées, de faible mobilité, en même temps que des ions et électrons de forte mobilité. Dans ce cas, les ions et électrons compensent aussi la charge électrique transportée par les particules.

L'invention s'applique tout particulièrement au cas de jets à température élevée, à savoir des températures en principe supérieures à 2000°C.

15

Dans une version simple de l'invention, l'interconnexion entre la ou les électrodes et la masse du moteur ou de son porteur est réalisée par une liaison électrique directe.

20

- Dans une réalisation plus évoluée, les moyens d'interconnexion comportent un capteur de champ électrique monté en un point choisi du moteur ou du porteur, et des moyens de commande et d'alimentation des électrodes, par rapport à la masse, dans le sens tendant à annuler le champ électrique capté. Il en résulte une diminution du potentiel du moteur et de son porteur, que l'on pourra astreindre à demeurer inférieur à une valeur prédéterminée.

- 25 30 Un autre aspect encore de l'invention consiste à prévoir un procédé pour compenser la charge électrostatique d'un moteur à réaction propulsant un aéronef.

Dans ce procédé, on prévoit, affleurant la périphérie du jet, une ou plusieurs électrodes conductrices effi-

35

lées, dont les pointes sont tournées vers l'extérieur du jet, et on applique à cette ou ces électrodes une tension reliée au potentiel du moteur ou de son porteur, de manière à réaliser un transfert contrôlé de charges entre le jet et le moteur, ainsi que le porteur, ce qui permet de limiter le potentiel de ces derniers lorsque le moteur est en fonctionnement.

Bien entendu, ce procédé peut faire l'objet de variantes et développements déjà exposés à propos du moteur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, ainsi que des dessins annexés, sur lesquels:

- la figure 1 est une illustration très schématique d'un moteur et de sa tuyère;
- la figure 2 est une illustration schématique d'un premier mode de réalisation de l'invention;
- les figures 3 et 4 sont deux autres illustrations schématiques de variantes de réalisation de l'invention;
- la figure 5 illustre sous forme d'une vue en coupe longitudinale une réalisation particulière de l'invention;
- les figures 6 et 7 sont des chronogrammes permettant d'illustrer le fonctionnement du dispositif selon l'invention; et
- la figure 8 illustre un second mode de réalisation de l'invention.

La présente invention fait intervenir des caractéristiques géométriques que seul le dessin peut définir complètement. En conséquence, les dessins sont incorporés à la description non seulement pour permettre sa
5 compréhension par l'homme de l'art, mais aussi pour contribuer à la définition de l'invention, le cas échéant.

La description détaillée se place dans le cadre d'un
10 aéronef équipé d'un moteur anaérobie, et destiné à atteindre de hautes altitudes. Il peut s'agir d'une fusée, dont la mission est de placer, dans l'espace, un satellite artificiel sur son orbite.

15 Il est maintenant fait référence à la figure 1.

Le potentiel d'équilibre d'un mobile est atteint lorsque le courant global éjecté par celui-ci est nul. Si l'on considère un corps portant la charge Q_0 positive à
20 l'équilibre, son potentiel est $V_0 = Q_0/C_0$, où C_0 est la capacité du mobile par rapport au sol.

Dans les charges éjectées, on distingue les charges de forte mobilité, ions positifs et négatifs, électrons,
25 dont le mouvement est gouverné par le champ électrique, et des charges de faible mobilité, de masse beaucoup plus élevée, telles que des particules d'alumine par exemple. Ces dernières charges sont couplées à l'écoulement, qui détermine donc leurs mouvements.

30 La figure 1 représente la répartition de ces courants. i_{p-} indique les charges négatives piégées par les particules de faible mobilité. i_+ indique la charge positive des particules de forte mobilité, tandis que i_-
35 indique la charge négative des particules de forte

mobilité.

Comme la charge du corps est positive dans l'exemple choisi, les charges i_- seront immédiatement recapturées par le mobile. La condition d'équilibre précitée est alors définie par : $i_{p-} + i_+ = 0$.

Le Demandeur a observé que, du moins lorsque la température du jet est élevée, il y a dans le jet suffisamment de charges électriques pour y empêcher l'apparition d'un champ électrique. On trouve en effet couramment des densités de 10^{13} ions ou électrons par centimètre cube dans la chambre de combustion, et ces densités atteignent encore 10^{11} ions ou électrons par centimètre cube à la sortie de la tuyère.

Il a donc été observé que les charges libres se trouvent à la périphérie du jet, et cet effet est utilisé dans la présente invention.

En effet, pour diminuer le potentiel d'équilibre, on réduit selon l'invention le potentiel pour lequel la dite condition d'équilibre est remplie, en agissant sur les charges de forte mobilité.

Il est maintenant fait référence à la figure 2, sur laquelle on retrouve schématiquement le moteur 1 et la tuyère 2.

A la sortie 29 de la tuyère, on dispose une électrode conductrice 3, reliée à la structure de l'engin, ici à travers la tuyère qui est supposée électriquement conductrice.

L'électrode 3 comporte un pied 30 fixé sur la tuyère

et son corps se prolonge sensiblement parallèlement à l'axe 20 de la tuyère et du jet J, de façon que sa pointe 31 se place sensiblement sur la tangente 2T à la paroi interne de la tuyère 2.

5

La même extrémité 31 présente un rayon de courbure R_c réduit, de préférence inférieur à 50 μm .

Il se produit alors une intensification du champ électrique au voisinage de cette extrémité 31 de l'électrode. Si la structure du moteur et/ou de son porteur est chargée positivement, les ions positifs qui se trouvent à la limite du jet, dans la "gaine" qui entoure celui-ci, sont repoussés par l'électrode; tandis que les ions négatifs sont attirés et neutralisent les charges positives accumulées sur le mobile. Dans les conditions de la figure 1, où l'éjection des ions positifs est favorisée, on abaisse le potentiel pour lequel la condition $i_{p-} + i_+ = 0$ est réalisée, puisqu'en première approximation i_{p-} est indépendant du champ électrique.

Ainsi, et selon l'invention, les charges électriques utilisées pour réduire le potentiel d'équilibre de la fusée sont produites par le propulseur à travers la combustion des propergols, à la différence de ce qui se passe avec les déperditeurs utilisés sur les avions ou les hélicoptères, pour lesquels les charges sont produites par une décharge auxiliaire (décharge "corona", arc).

30

De plus, l'ionisation du milieu (densité d'ions et d'électrons de l'ordre de 10^{11} par centimètre cube en sortie de tuyère) permet de collecter sur l'électrode 3 des courants très supérieurs au courant "corona", à partir d'un champ électrique plus faible. De ce fait,

35

le rayon de courbure de l'électrode est moins critique que celui des déperditeurs classiques.

De plus, les charges n'étant pas créées dans le milieu extérieur, mais existant dans les produits de combustion eux-mêmes, le dispositif selon l'invention peut fonctionner à haute altitude, tant que les propulseurs sont allumés.

10 Dans l'exemple donné jusqu'à présent, on a supposé que le mobile est chargé positivement. Bien entendu, le dispositif selon l'invention fonctionne aussi bien lorsque la charge acquise par le mobile est négative, puisque le jet propulseur contient des charges des
15 deux signes, et que le champ créé par le mobile, à l'extrémité 31 de l'électrode 3, attire les charges de signes opposés à la charge propre du mobile.

En pratique, il s'est avéré souhaitable que la connexion
20 de l'électrode 3 au moteur ou au corps du mobile se fasse à travers un conducteur dont la résistance électrique soit très faible, typiquement de 10^{-3} ohms, afin d'assurer l'égalité de potentiel entre l'électrode et la structure du mobile.

25 Le fait que l'électrode soit placée à la limite du jet, c'est-à-dire dans la gaine de celui-ci, permet que le champ électrique agisse dans une zone où la densité de porteur de charges est élevée. Il ne doit cependant pas
30 y avoir d'interaction aérodynamique entre l'électrode et le jet. C'est pourquoi il est préférable que l'extrémité de l'électrode soit tangente à la génératrice 2T de la tuyère.

35 Pour la réalisation mécanique de l'électrode, on choi-

sira un matériau qui lui permette de résister aux conditions thermiques existant à la limite du jet.

Afin d'obtenir un champ électrique élevé, le rayon de courbure R_c de l'extrémité 31 de l'électrode 3 est, de préférence, inférieur à 50 microns, par exemple égal à 30 microns environ.

Les figures 3 et 4 montrent des variantes de réalisation dans lesquelles l'électrode 3 est prévue à la conception de la tuyère, plutôt que d'être rajoutée sur une tuyère existante (figure 2).

La figure 3 illustre le cas d'une tuyère conductrice. L'électrode 3 est alors ajoutée par l'extérieur de la tuyère, pour former un prolongement parallèle de celle-ci.

La figure 4 suppose le cas d'une tuyère 12 qui est maintenant isolante, par exemple réalisée en kevlar (marque déposée). L'électrode conductrice peut alors être réalisée sous la forme d'un implant métallique 13, possédant une pointe 131 qui peut être alignée sur la tangente 12T à la tuyère. L'électrode 13 est reliée par un bon conducteur 130 à la masse du moteur ou du mobile.

Dans le mode de réalisation décrit jusqu'à présent, l'électrode est réalisée sous la forme d'un anneau continu. Bien entendu, elle peut aussi être réalisée sous forme d'une série de segments interconnectés, qui permettront par exemple de laisser un passage libre pour les vérins de commande de l'orientation de la tuyère. L'électrode continue peut aussi être remplacée par une série de pointes, munies d'une très bonne interconnexion électrique entre elles et avec la structure du mobile

porteur.

La figure 5 illustre une forme de réalisation détaillée de l'invention.

5

Le moteur 1 comporte intérieurement un propergol 10, laissant la place d'un alvéole central 14. Ce propergol est contenu dans une enveloppe 1, munie intérieurement d'un inhibiteur de combustion 12, de façon connue. Le fond de propulseur 13 reçoit un support de tuyère 23, qui lui est fixé par des vis telles que 24. Sur ce support de tuyère 23 est monté un col de tuyère en graphite 21. La paroi externe de la tuyère 2 vient à son tour se fixer par des vis telles que 25 à la fois sur le fond de propulseur 13 et sur le support de tuyère 23. Cette paroi est munie intérieurement d'un revêtement thermique 22, qui peut être constitué d'une colle convenable à base d'amiante, par exemple.

20 A l'extrémité 29 de la paroi de tuyère 2 est montée une électrode annulaire 3 dont la pointe 31 vient en prolongement de la tangente 2T à la paroi interne de la protection thermique 22.

25 Des expériences ont été conduites avec un dispositif tel que décrit en référence à la figure 5, dans lequel le rayon de courbure des pointes 31 était de 30 μ m, tandis que la longueur axiale de l'électrode 3 était d'environ 1 centimètre, et son diamètre d'environ 30 10 centimètres.

La figure 6 illustre la montée en potentiel d'une tuyère selon la figure 5, qui ne comportait pas l'électrode 3.

Il apparaît que le potentiel monte à 400 volts en 320 millisecondes, pour atteindre une valeur limite d'environ 772 volts.

- 5 Après cette valeur limite apparaît encore une pointe, qui tient au fait que le propulseur a été arrêté.

- Avec le dispositif de l'invention, le propulseur atteint une tension limite de 337 volts au bout d'un
10 temps d'environ 2,4 secondes. Une pointe de même nature que précédemment est observable ensuite.

- Il apparaît donc que la présente invention permet un gain substantiel sur la tension d'équilibre d'un mobile
15 équipé du propulseur décrit.

- Si, pour certaines applications, le potentiel obtenu sur le mobile avec le dispositif décrit jusqu'à présent était trop élevé, on pourrait utiliser la variante
20 décrite en référence à la figure 8. L'électrode 3 est alors isolée de la structure. Le mobile M est muni d'un capteur de champ électrique 40. La mesure de champ électrique fournie par ce capteur 40 est fonction du potentiel du corps. Le capteur 40 agit sur un disposi-
25 tif électronique de commande 41, qui définit une tension de commande en fonction de la mesure de champ électrique. Un circuit d'alimentation 42 applique alors la tension de commande ainsi définie à l'électrode 3, afin de maintenir le potentiel du mobile M à zéro ou
30 à une valeur limite préétablie.

- Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits. Elle s'étend également à toute variante incluse dans le cadre des reven-
35 dications ci-après.

Revendications.

1. Moteur à réaction, comportant une chambre de combustion (1) où l'on fait brûler un combustible solide et/
- 5 ou liquide, et une tuyère (2) pour canaliser vers l'extérieur un jet constitué des produits de combustion,
- caractérisé en ce que la tuyère (2) comporte, au voisinage de son extrémité libre extrême (29), une ou plu-
- 10 sieurs électrodes conductrices effilées (3), dont les pointes (31) tournées vers l'extérieur à l'égard du sens du jet (1) affleurent la périphérie externe (21) de celui-ci, et en ce que sont prévus des moyens d'in-
- 15 terconnecter la ou lesdites électrodes avec la masse du moteur ou de son porteur, afin de réaliser un transfert de charges électriques entre le jet et le moteur ainsi que le porteur, permettant par là de limiter le potentiel de ces derniers lorsque le moteur est en fonctionnement.
- 20
2. Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rayon de courbure (R_c) de l'extrémité effilée de la ou des électrodes est très inférieur au millimètre.
- 25
3. Moteur selon la revendication 2, caractérisé en ce que le rayon de courbure (R_c) de l'extrémité effilée de la ou des électrodes est inférieur à 100 microns, de préférence inférieur à 50 microns.
- 30
4. Moteur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la chambre de combustion (1) contient un propergol contenant un combustible et un comburant, le moteur étant anaérobie.
- 35
5. Moteur selon la revendication 4, caractérisé en ce

que la ou les électrodes (3) sont placées à la limite du jet, sans avoir d'interaction aérodynamique avec celui-ci.

5 6. Moteur selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'extrémité (31) effilée de la ou des électrodes (3) est tangente à la génératrice de la tuyère (2T).

10 7. Moteur selon l'une des revendications 4 à 6, caractérisé en ce qu'il est propre à éjecter des particules solides chargées, de faible mobilité, en même temps que des ions et électrons de forte mobilité, lesquels interagissent avec la ou lesdites électrodes (3).

15 8. Moteur selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il opère sur un jet (J) à haute température.

20 9. Moteur selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'une seule électrode (3) est prévue, qui occupe sensiblement tout le pourtour de la tuyère.

25 10. Moteur selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité d'électrodes (3), distribuées sur le pourtour de la tuyère.

30 11. Moteur selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les moyens d'interconnexion (3, 2; 130) réalisent une liaison électrique directe entre la ou les électrodes et la masse du moteur ou de son porteur.

35 12. Moteur selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les moyens d'interconnexion comportent un capteur de champ électrique (40) monté en un point choisi du moteur ou du porteur, et des moyens de

commande (41) et d'alimentation (42) des électrodes, par rapport à la masse, dans le sens tendant à annuler le champ électrique capté.

- 5 13. Procédé pour compenser la charge électrostatique d'un moteur à réaction à combustible solide et/ou liquide propulsant un aéronef,
- caractérisé en ce qu'on prévoit, affleurant la périphé-
10 rie (2T) du jet (J), à la sortie de la tuyère du réacteur, une ou plusieurs électrodes conductrices effilées (3), dont les pointes (31) sont tournées vers l'extérieur du jet, et
- 15 en ce qu'on applique à cette ou ces électrodes (3) une tension (V) par rapport au moteur ou à son porteur, de manière à réaliser un transfert contrôlé de charges entre le jet et le moteur, ainsi que le porteur, permettant par là de limiter le potentiel de ces derniers
20 lorsque le moteur est en fonctionnement.
14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que l'on relie directement la ou les électrodes (3) au moteur ou à son porteur.
- 25 15. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'on mesure (40) le champ électrique présent en un point choisi du moteur ou du porteur, et en ce qu'on applique (41, 42) aux électrodes (3) un potentiel du
30 sens convenant pour annuler le champ électrique mesuré.

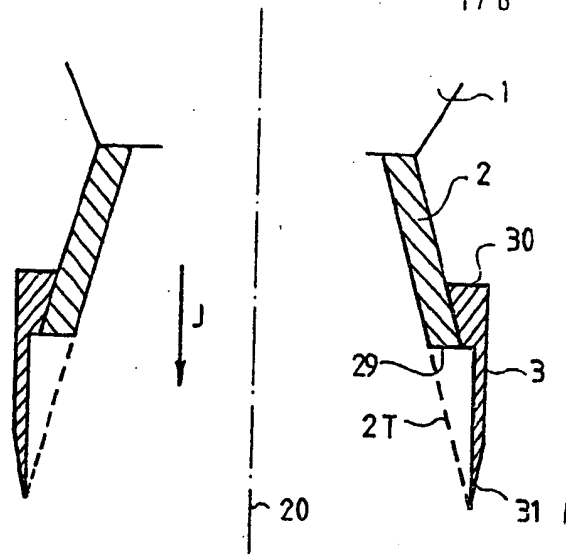


FIG. 2

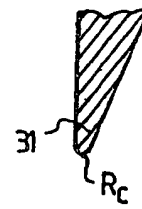


FIG. 2a

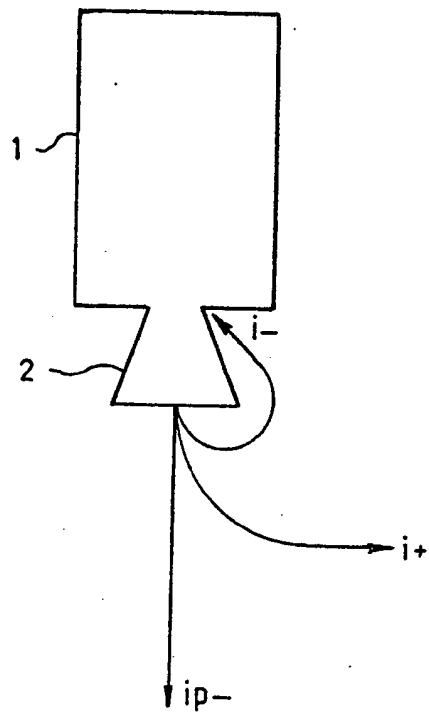
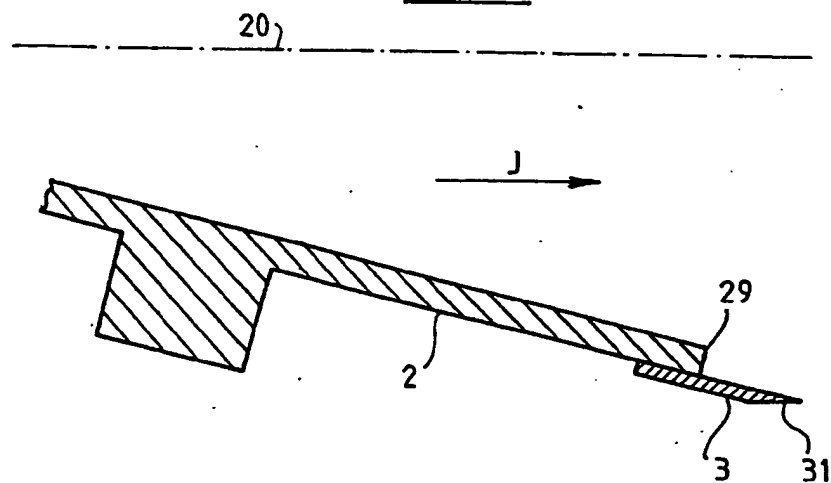
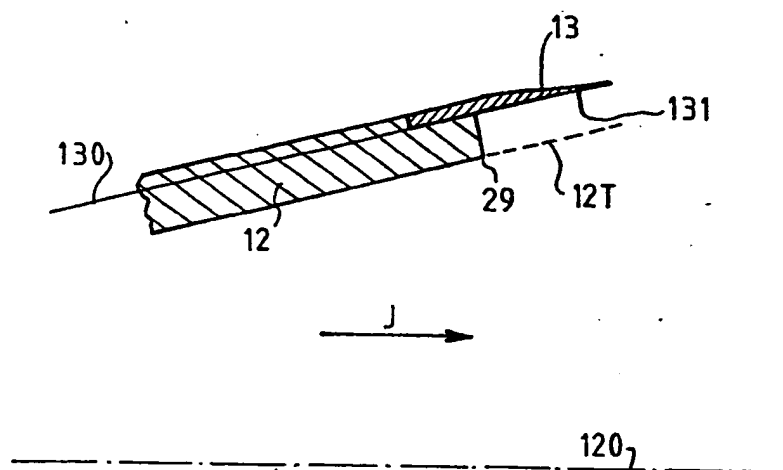


FIG. 1

2 / 6

FIG. 3FIG. 4

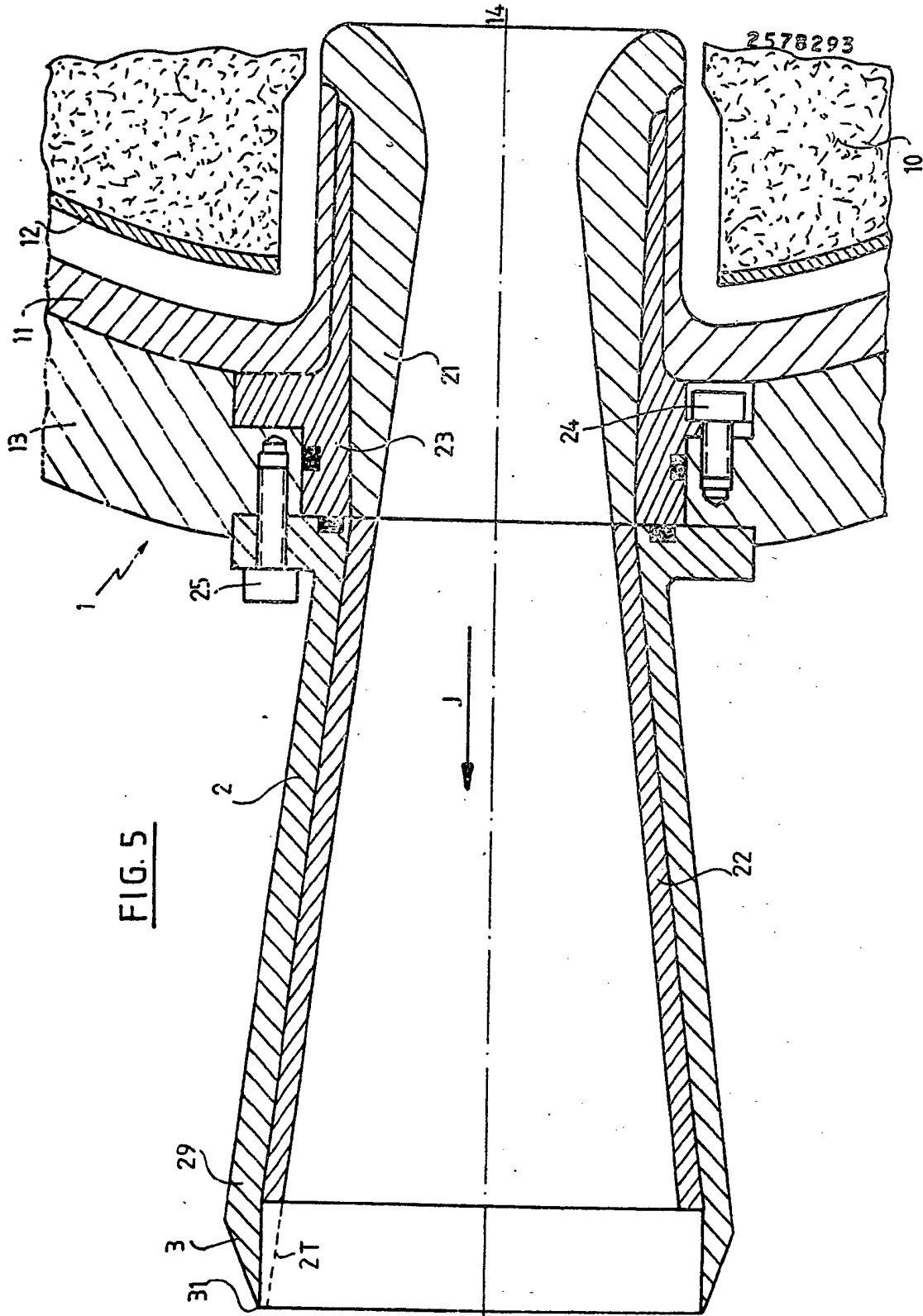
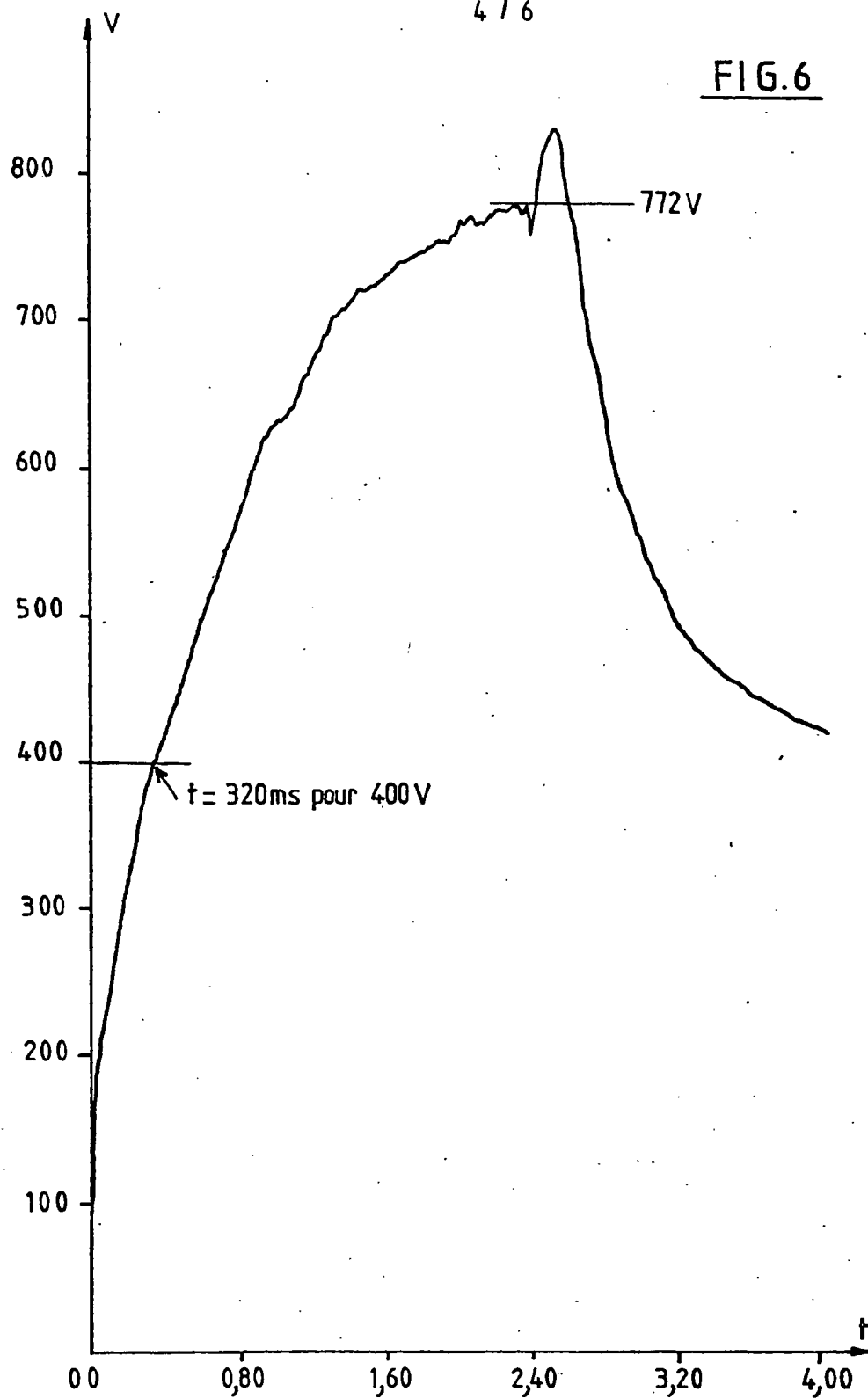


FIG. 5

4 / 6

FIG.6

2578293

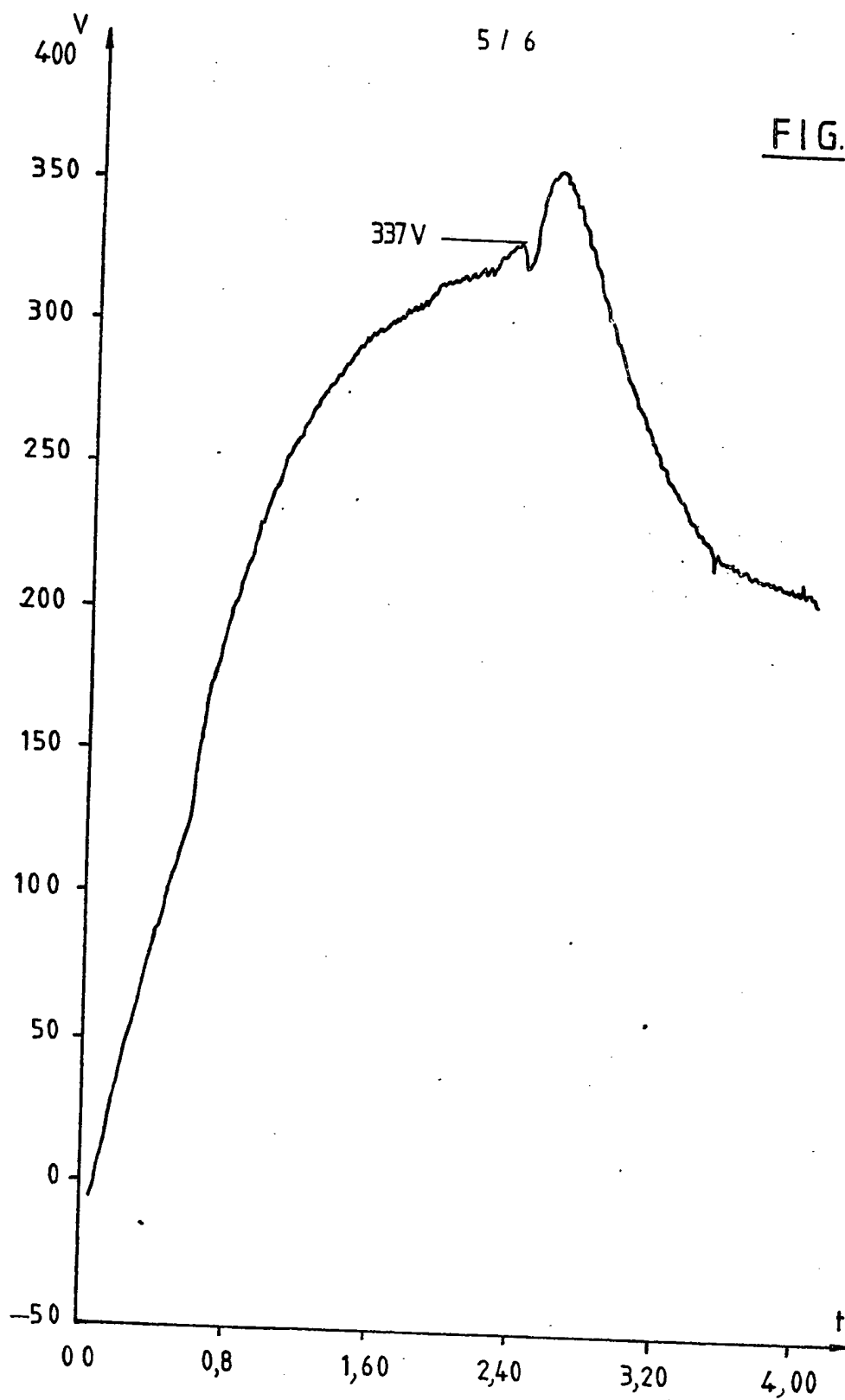
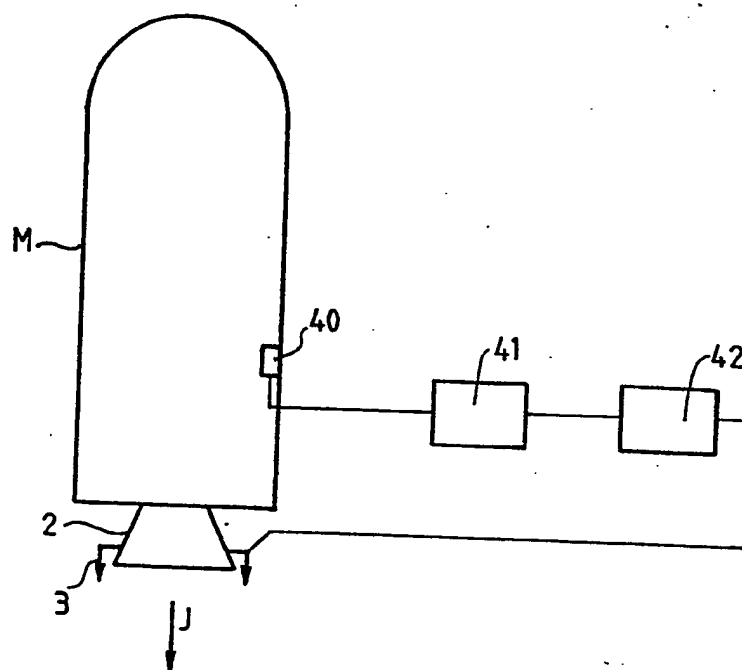


FIG. 8

THIS PAGE BLANK (USPTO)